引用格式：边文越，梁兴杰，葛春雷，等．世界主要科技强国纳米科技发展战略研究与启示．中国科学院院刊，2024, 39(3): 540-549, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20220223002.
Bian W Y, Liang X J, Ge C L, et al. Study on R&D strategies in nanoscale science and technology of powerhouses and insights. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(3): 540-549, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20220223002. (in Chinese)

世界主要科技强国纳米科技发展战略研究与启示

边文越[1*] 梁兴杰[2] 葛春雷[1] 惠仲阳[1] 贾晓琪[1] 刘 漸[1] 叶 京[1] 陈晓怡[1] 王文君[1] 鞠华俊[3]

1 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190
2 国家纳米科学中心 北京 100190
3 中国化学会 北京 100190

摘要 通过分析世界主要科技强国（地区）在2000—2023年发布的指导纳米科技发展的近160份战略规划文件，发现各国（地区）采取了一系列具有共性的战略举措，成功促进纳米科技发展，主要包括：高度重视纳米科技；建立跨部门管理机构；制定战略规划并实施重大研究项目；建立多学科交叉的研究中心；投资建设研究基础设施；促进与其他科技融合发展；推动研究成果产业化；特别关注对环境和健康的影响；积极培养和引进人才；积极开展国际合作。近年，各国（地区）仍然对发展纳米科技保持高度重视。结合对中国纳米科技发展现状的分析，文章建议中国建设国家级纳米材料数据中心和纳米科技智库，建立适应世界科技发展趋势和纳米科技发展需求的人才培养体系。

关键词 纳米科技，战略规划，战略研究，战略情报

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20220223002

CSTR 32128.14.CASbulletin.20220223002

自2000年1月美国宣布启动“国家纳米技术计划”以来，纳米科技已在全球蓬勃发展了20多年，广泛影响了人们的衣食住行，并为人类应对新发突发传染病、气候变化等全球重大挑战作出重要贡献。

以史为鉴，可以知兴替。本文收集了2000—2023年美国、英国、法国、德国、俄罗斯、日本、韩国、中国、欧盟官方发布的指导纳米科技发展的近160份战略规划文件，使用内容分析法对这些战略规划文件

*通信作者
资助项目：中国科学院科技战略咨询研究院前沿探索计划资助项目（E2X1531Z）
修改稿收到日期：2024年2月27日

进行分析，总结了世界主要科技强国（地区）发展纳米科技的成功经验，研判了最新战略动向。在此基础上，结合对中国纳米科技发展现状的分析，为今后一个时期中国发展纳米科技提出了一些政策建议。本文总结的发展纳米科技的成功经验，对于中国发展其他科技领域同样具有借鉴意义。

1 世界主要科技强国（地区）纳米科技发展战略研究

1.1 发展经验

对2000—2023年世界主要科技强国（地区）发展纳米科技的战略规划文件进行梳理发现，虽然这些国家（地区）在政治制度、经济水平等方面存在明显差别，但在发展纳米科技方面采取了一系列具有共性的战略举措，主要体现在10个方面。

（1）将纳米科技视为促进经济发展、提升国家竞争力的关键技术。美国《国家安全战略》将纳米技术列为事关经济增长和安全的关键新兴技术之一[1]。欧盟认为纳米技术是使欧洲在高附加值、技术密集型产品和服务等行业处于全球领先的6项关键使能技术之一[2]。英国认为通过发展先进材料与纳米技术可以推动该国经济增长、创造就业、实现产业结构转型升级，保持世界领先国家地位[3]。俄罗斯《国家安全战略》提出重点发展纳米技术等战略高技术，把纳米技术列入《科学、技术与工程优先发展方向》和《关键技术清单》[4]。日本将“纳米技术与材料”定位为创造新价值的核心和优势基础技术、支撑超智能社会的重要基础技术[5]。中国国务院组织了有关纳米科技现状及其发展趋势的专题讲座[6]。

（2）针对纳米科技跨学科、跨领域的特点，设立跨政府部门、跨行业的发展促进机构。美国在国家科学技术委员会下设立了纳米科学、工程和技术分委员会，由白宫科技政策办公室、管理与预算办公室、国家纳米技术计划参与机构的代表组成，负责协调国家纳米技术计划的规划、预算、实施和评估。英国成立了纳米技术部长小组，以协调相关政府部门，加强对纳米技术工作的领导。俄罗斯设立了常设机构纳米技术政府委员会，以保障联邦权力执行机构与工商界、科技界的紧密联系。日本设立了纳米技术与材料科学技术委员会，成员主要来自大学、科研机构和企业，主要任务包括分析纳米技术和材料科技领域国际发展态势和日本发展现状、审议纳米技术和材料科技发展规划等[7]。中国成立了国家纳米科学技术指导协调委员会，由科学技术部、国家发展和改革委、教育部、财政部、中国科学院、中国工程院、国家自然科学基金委等相关部门代表和专家组组成，负责对全国纳米科学技术工作进行指导和协调。

（3）制定专门的纳米科技发展战略，部署重大研究项目，并投入大量资金。美国为国家纳米技术计划制定了战略规划并定期更新，部署了“纳米技术联合计划”“纳米技术引发的重大挑战”等重大项目。2001—2021财年，美国联邦政府为国家纳米技术计划累计投入超过310亿美元[8]。欧盟制定了《2005—2009年纳米科学和纳米技术行动计划》；在“地平线2020”计划阶段（2014—2020年）“纳米技术、先进材料、先进制造和加工、生物技术”主题下，预算投入近17亿欧元用于纳米技术相关研究，部署了“石墨烯旗舰计划”重大项目，计划投入5亿欧元[9]。英国制定了《英国纳米技术战略：小技术，大机遇》，从商业、工业与创新，环境、健康、安全研究，监管，利益相关方等4个方面部署了43项行动[10]。法国于2019年3月启动“纳米计划2022”重大项目，政府计划出资10亿欧元，以支持新一代电子元器件的研发与预工业化[11]。德国制定了《纳米行动计划2010》《纳米技术行动计划2015》《纳米技术行动计划2020》等战略规划。近年，德国联邦政府和各州政府每年对纳米技术的资助合计超过6亿欧元[12]。俄罗斯于2007年4月批准了《纳米工业发展战略》，在该战略下成立俄罗斯

纳米技术公司，批准《至2015年纳米工业发展计划》，后者计划融资约3 179亿卢布[13]。日本制定了《纳米技术·材料科学技术研究开发战略》，文部科学省和经济产业省部署了“综合材料研发计划”“超尖端材料超高速研发基础技术计划”等重大项目[14]。韩国制定了《纳米技术综合发展计划》和《国家纳米技术路线图》，并定期更新；2001—2020年累计投入7.9万亿韩元用于纳米技术研发[15]。中国制定了《国家纳米科技发展纲要（2001—2010）》，在《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》指导下部署了“纳米研究”国家重大科学研究计划、“纳米科技”重点专项等重大项目。

（4）依托大学、科研机构、企业等优势研究力量，组建多学科交叉的纳米科技研究中心。美国国家科学基金会（NSF）设立了纳米尺度模板合成和组装中心等19个纳米科学和工程中心，每个中心由1所大学牵头、若干所大学或企业参与[16]。英国在曼彻斯特大学投资建立了国家石墨烯研究所、石墨烯工程创新中心、亨利·莱斯研究所等石墨烯研究机构。德国弗劳恩霍夫应用研究促进协会下设76个研究单元，其中应用聚合物研究所等14个研究所组成了纳米技术业务联盟。俄罗斯指定库尔恰托夫研究所为该国纳米科技研究的国家牵头单位，该所是俄罗斯首批国家科学中心之一。日本从2007年起实施世界顶级研究中心计划，至2020年底累计设立了13个研究中心，其中国际纳米组装学研究中心、纳米生命科学研究所等至少7个中心从事纳米科技研究[17]。中国组建了国家纳米科学中心、纳米技术及应用国家工程研究中心等一批高水平科研机构。

（5）投资建设纳米科技公共科研设施平台，包括仪器平台、重大科研基础设施、数字平台等。美国NSF投资建设纳米研究基础设施网络40多年，建设了国家纳米技术协同基础设施和纳米技术计算网络平台。前者由16所大学的纳米技术科研设施组成，后者可向全球研究人员提供500多件纳米尺度计算、模拟工具。欧盟“地平线2020”计划资助建立了欧洲纳米科学铸造和精细分析平台，由分布在意大利、法国、德国等10个国家的科研设施组成，为用户提供一站式服务[18]。日本从2002年起投资建设纳米技术科研设施共享平台，第3期（2012—2021年）建设了以物质·材料研究机构为核心、25家机构组成的先进仪器设施网络，并在物质·材料研究机构设立了材料数据平台中心，以支持开展数据驱动型材料研发[19]。中国由国家科技基础条件平台中心搭建了重大科研基础设施和大型科研仪器国家网络管理平台，纳米真空互联实验站二期建设项目已于2023年2月成功验收；中国科学院建立了北京物质科学与纳米技术大型仪器区域中心，充分发挥成员单位的科研和装备优势，为全国数百个单位提供开放共享服务。

（6）推动纳米技术、生物技术、信息技术、认知科学融合发展。美国设立了“纳米技术引发的重大挑战：未来计算”项目，旨在通过纳米技术、计算机科学和神经科学的交叉融合变革性地提升计算机的计算处理能力[20]。俄罗斯把纳米—生物—信息—认知融合技术列入《关键技术清单》，库尔恰托夫研究所设立了纳米—生物—信息—认知—社会融合自然技术中心。日本将融合化作为该国纳米技术发展方向之一，通过与其他领域尖端技术融合，实现新功能，创造新材料。韩国2012年设立“纳米融合2020”项目，计划到2020年投入5 130亿韩元，优先支持新一代半导体、纳米弹性元件、高效能源转化技术、水环境与资源处理技术等四大战略项目。

（7）建立制造研究基地，推动纳米科技研究成果产业化。美国建立了国家纳米制造业网络，以加快纳米技术从实验室突破向成熟的商业化先进制造技术转化[21]。英国通过创新制造中心、未来制造研究中心、高价值制造技术创新中心等产学研合作平台推动纳米技术在制造业中应用。法国依托格勒诺布尔科技城建

立了欧洲领先的微纳米技术创新园区。法国、挪威、荷兰等国家组建了分布式的纳米制造研究基础设施“欧洲纳米技术实验室”，以提高欧洲纳米制造的质量和效率[22]。俄罗斯纳米技术公司在俄罗斯设立了15个纳米技术中心（截至2019年10月），旨在集中设备和技术优势为小微企业提供孵化服务，推动纳米技术研究成果商业化。韩国在大田、水原、浦项、光州、全州、大邱建立了6个纳米制造中心，作为产业技术发展平台。中国建立了北京纳米科技产业园、苏州纳米城等多个高水平产业化基地。2022年11月，国家石墨烯创新中心获批组建，成为26个国家级制造业创新中心之一。

（8）高度重视纳米科技可能对人类健康和自然环境造成的影响。美国国家纳米技术计划将“支持纳米技术负责任地发展”列为四大发展目标之一，并制定了纳米技术环境、健康、安全研究战略，2005—2020年在纳米技术环境、健康、安全研究方面累计投入超过12.6亿美元。欧盟于2013年6月发布《欧盟纳米安全（2015—2025）：向安全和可持续的纳米材料和纳米技术创新迈进》，阐述了欧盟纳米安全研究的优先领域和发展路线图。英国皇家学会和皇家工程院于2004年7月联合发布报告《纳米科学和纳米技术：机遇与不确定性》，关注纳米安全问题[23]。德国联邦政府始终把纳米安全放在重要位置，拿出纳米技术研究经费的10%用于风险研究和相应的防范措施。俄罗斯高度关注纳米技术对人类生命和全球发展的威胁，特别是纳米技术对军事安全的影响。日本围绕纳米材料的毒性与接触风险部署了一系列研究项目，重点关注纳米尺度的二氧化钛、碳黑、银、碳纳米管、富勒烯等[24]。韩国制定了《纳米安全管理综合计划》，以应对纳米技术对人类健康、环境等的影响，并通过《国家纳米技术路线图》，前瞻部署纳米安全研究。中国科学家在2001年就提出纳米生物环境效应的研究计划和安全性问题，“香山科学会议”多次将纳米安全性和环境伦理等作为主题予以研讨，国家重点基础研究发展计划、“纳米研究”国家重大科学研究计划、“纳米科技”重点专项部署了多个纳米科技安全性研究项目。

（9）积极培养和引进专业人才，通过多种形式的科普活动，增进全社会尤其是青少年对纳米科技的了解和兴趣。在培养人才方面，美国纽约州立大学奥尔巴尼分校于2004年成立了美国首个纳米技术学院——纳米尺度科学与工程学院。英国在大学设立纳米技术领域博士培养中心，培养纳米技术博士研究生。韩国2019年在校纳米技术专业学生38 087人，年均增长率约3.7%。2010年，苏州大学与苏州工业园区、加拿大滑铁卢大学合作，成立了中国首个纳米科学技术学院，是中国建立跨学科纳米科学教学的首次尝试。2022年9月，国务院学位委员会、教育部印发《研究生教育学科专业目录（2022年）》，新增一级交叉学科“纳米科学与工程”。在引进人才方面，俄罗斯引进国外知名科学家、俄裔科学家在俄罗斯开展合作研究。日本世界顶级研究中心为外国研究人员提供世界一流的研究和生活环境，以英语为第一工作语言。中国也通过各种人才计划吸引优秀海外人才来华发展。在科普活动方面，各国（地区）一方面积极依托大学、科研机构、博物馆甚至游乐场（如迪士尼乐园）等，通过各种主题活动（如美国“纳米日”活动），请科普对象走进来接受科普教育；另一方面，制作动画、视频等生动活泼的科普材料，通过互联网向公众传播，特别是借助科普教学车等流动宣传设施（如美国的NanoExpress、德国的NanoTruck）积极走出去，将纳米科技知识普及到公众特别是青少年。

（10）积极开展国际合作。各国（地区）在双边、多边、国际组织（例如，OECD、APEC、金砖国家、ISO）等框架下开展了有针对性且富有成效的纳米科技合作。其中，纳米技术安全性是合作重点。欧盟与美国自2011年起在纳米安全领域开展合作，2018年合

作发布了《欧盟-美国纳米信息学研究路线图2030》[25]。欧盟与墨西哥、巴西、韩国、南非、亚洲纳米论坛等国家和组织在纳米安全方面也建立了合作关系。2008年10月，首届中美纳米生物和纳米医学研讨会在北京举行，纳米材料安全问题合作研究是讨论内容之一。必须指出的是，各国（地区）在国际组织框架下开展合作的同时，也在通过其框架维护自身利益。例如，围绕纳米技术标准，各国（地区）在国际标准化组织纳米技术委员会、国际电工委员会纳米电工产品与系统技术委员会等框架下争夺标准制定的主导权，为本国纳米技术产品竞争国际市场争取优势。

1.2 最新动向

经过长期快速发展，纳米科技已从一项新兴技术转变为一项共性技术，随着各应用领域的发展而进步。在此背景下，相比21世纪初，各国（地区）近年出台的纳米科技发展战略数量减少，对纳米科技的研发资助更多转向具体应用领域。那么，是否还有必要继续保持对纳米科技的战略重视和专项资助，成为一个重要问题。本文通过调研世界主要科技强国（地区）近期（2020—2023年）规划部署，得出以下3点发现。

（1）各国继续保持对纳米科技的高度重视。2020年10月，美国公布“国家纳米技术计划”2021财年预算报告，指出对纳米技术的持续投资是建立未来产业的重要基础，也是在半导体和战略计算领域继续保持领先的重要基础，美国必须继续保持在纳米技术领域的全球领先地位。2022年4月，美国总统科技政策办公室在向国会的报告中再次指出纳米技术是未来产业的重要组成部分[26]。2021年9月，法国总理在国家工业委员会全体会议上发表讲话，把纳米电子同量子力学、人工智能、绿色氢气、电池、绿色生物技术、健康等一起列为需要重点投资的战略性领域[27]。2021年4月，韩国政府发布第5期《纳米技术综合发展计划》，计划在2021—2025年投资5.6万亿韩元用于纳米技术研发、基础设施和人力资源的发展，体现出对纳米技术的高度重视和积极发展态度。中国科学院和国家自然科学基金委员会联合组织撰写的《中国纳米科学2035发展战略》指出，纳米科技以其多学科交叉性、基础性、引领性、变革性的特征，成为推动科学发展的新引擎；对产业的颠覆性和变革性特征凸显，是未来变革性技术和产业升级的重要源头[28]。

（2）强调面向重大社会问题。2021年10月，美国发布“国家纳米技术计划”新版战略规划，设立了“国家纳米技术挑战”项目，以调动纳米科技界和其他各界的研究力量，合作应对全球性重大问题[29]。首个项目Nano4EARTH旨在应对全球气候变化，已于2023年1月启动。2022年7月，日本第11届纳米技术与材料科学技术委员会召开第6次会议，讨论《纳米技术与材料科学技术领域研发计划（草案）》，提出日本发展纳米技术的目标是推动经济增长和创新、最终实现超智能社会[30]。韩国第5期《纳米技术综合发展计划》列出了4项战略目标，在目标1“加强具有创造性或挑战性和全球领先的纳米研究”中，提出纳米技术要为重大社会和经济问题提供解决方案。中国国家重点研发计划“纳米前沿”重点专项2021年部署了27个项目，其中约2/3与集成电路、疾病诊断治疗、可再生能源、水污染治理等国家重大需求相关。《国家自然科学基金“十四五”发展规划》提出针对高性能电子、光电子、量子和自旋等固态器件领域的国家战略需求，聚焦纳米科学与技术领域的关键科学问题，发展高精准度纳米加工方法，突破制约我国纳米科技领域的关键核心技术。到2025年，实现高性能纳米器件的有序集成，催生纳米技术变革和新兴产业[31]。

（3）积极应对研发范式向数据密集型转变。美国2021年发布的《国家纳米技术计划战略规划》设定了5项发展目标，在目标3“提供基础设施，为纳米技术研究、开发和利用提供可持续的支持”中，新增“提

高数据库的互操作性”，旨在为发展人工智能提供大型数据集。2021年，日本文部科学省部署了两个至2030年的重大项目——“基于数据生成和利用的材料研究开发”和“材料先进研究基础设施”，旨在基于日本的超级计算机、科研基础设施、先进仪器设施网络、科研数据库，可持续、高效地产生、积累和利用材料研发数据，从而创造新功能材料，实现科研数字化转型。韩国第5期《纳米技术综合发展计划》在目标1中提出建立和扩大纳米技术和材料数据平台。韩国正在建设韩国材料数据平台（Korea Materials Data Station），2022年计划投入196亿韩元[32]。2020年6月，中国科学技术部启动国家重点研发计划科学数据汇交工作，“纳米科技”专项研究过程产生的数据上传至国家基础数据中心。

2 中国纳米科技发展现状

中国纳米科技研究几乎与世界同时起步，历经近40年的发展，取得了举世瞩目的成就，每年纳米科技论文发表数量、高被引论文数量、专利申请量均已位居世界第1位，已成为当今世界纳米科技进步的重要贡献者和纳米前沿技术研发大国之一。具体体现在：*①部分基础研究方向已跃居国际领先水平。*中国科学家率先发现了聚集诱导发光现象，提出了单原子催化、纳米酶等重要科学概念，开发了聚集诱导发光材料、单原子催化剂、纳米酶、多孔材料、二维材料、稀土功能材料、有机光电材料等世界领先的纳米材料体系。“聚集诱导发光”“纳米限域催化”“有序介孔高分子和碳材料的创制和应用”3项研究获得国家自然科学奖一等奖，“单壁碳纳米管的可控催化合成”“新型纳米载药系统克服肿瘤化疗耐药的应用基础研究”“特种光电器件的超快激光微纳制备基础研究”等研究获得国家自然科学奖二等奖。*②应用研究与成果转化方面的努力也初见成效。*以甲醇制烯烃催化剂为代表的整套生产技术实现大规模工业化，利用纳米绿色印刷技术印制的电子门票已成功用于全国科技活动周、北京APEC会议、地铁票卡等场合，纳米科技成果在抗击新冠疫情、发展航空航天、维护国防安全等方面发挥了坚实作用。*③在纳米科技领域拥有一批具有国际影响力的领军人才。*获得联合国教科文组织纳米科学和纳米技术发展贡献奖章等国际奖励，并以优越的科研条件吸引了日本藤岛昭、瑞士米夏埃尔·格雷策尔等一批世界著名纳米科技专家来华合作。总之，中国纳米科技研究已进入世界先进行列。美国国家科学院也在评估报告中坦陈，中国积极有效的研发战略有望使其在这一至关重要的技术领域处于领先地位[33]。

*虽然成绩斐然，但也必须指出中国只是在纳米科技基础研究方面与美国共处领先位置，在产业化方面与美国、日本相比还存在一定差距。*中国高校、科研机构对研究成果从实验室转向工业应用的研发投入力度严重不足，基础研究与国家需求、经济发展等的有效贯通机制仍明显薄弱，一些有很好产业化前景和应用潜力的研究成果不能很好地通过国内企业转产。中国在与产业发展和人类健康密切相关的纳米安全性研究方面相对薄弱，对纳米科技的伦理学和社会影响研究不够重视。而且，即使在基础研究方面，受科研评价体系影响，大量科研人员为追求文章数量和影响因子，盲目追随研究热点，对国家重大需求关注不够，不仅浪费了大量基础研究资源，而且造成跟踪研究多、研究同质化、原始创新少、方向引领能力不足等问题。当然，上述问题在中国不是纳米科技独有，而是普遍存在于科技领域。

3 政策建议

《中国纳米科学2035发展战略》提出，到2035年中国纳米科学基础研究整体创新能力达到世界领先水平，在纳米体系基本原理方面实现突破，开发具有自主知识产权的纳米器件和纳米材料，建立纳米生物安

全性评价新方法，促进纳米技术在能源、环境、信息、医学、健康领域的应用。

在此基础上，本文结合纳米科技国际发展经验、各国最新动向和中国纳米科技发展现状，提出以下4点建议。

（1）聚焦“四个面向”，以成果转化为重点。研发部署应面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，引导纳米科技工作者攻关世界重大前沿科学问题和我国经济社会发展中遇到的突出问题特别是“卡脖子”问题，努力实现高水平科技自立自强。对于有成果转化前景的纳米科技基础研究，建议以国家战略需求为牵引，制定技术发展路线图，官产学研合作推进成果转化，科学合理规划产业空间布局，推进差异化、特色化、集群化发展，避免低水平的重复建设和恶性竞争。

（2）适应数据密集型研发范式特点，建设国家级纳米材料数据中心。在数据密集型研发范式时代，世界科学中心必然是科学数据中心。建议统筹部署纳米材料数据库建设，由若干个具有数据优势的机构牵头，采取高校、科研机构、企业合建的方式，分布式布局，先示范再推广，经过长期培养发展成为国家级科学数据中心。数据库不仅应包括纳米材料合成方法、材料结构与性质、各种表征结果等数据信息，而且需要配套算法开发平台。建立数据格式规范标准，保证各数据库互联互通并与化学品监管部门数据库联通，数据格式要便于机器学习和超级计算机处理。建立数据核查机制，去伪存真，维护科研诚信。

（3）建设纳米科技智库，加强战略规划顶层设计。建议借鉴韩国国家纳米技术政策中心、德国弗劳恩霍夫系统与创新研究所等国外纳米科技智库成功经验，建设专业从事纳米科技发展战略研究的智库机构或团队，使我国纳米科技战略规划和发展布局更加科学和反映国家需求。智库负责开展情报收集、态势分析、科技前瞻、水平评估、科技评价等工作；协助战略科学家梳理可能催生重大创新研究成果或深刻影响未来科技发展走向的纳米科技前沿研究方向，制定发展规划和技术路线图。

（4）借新增一级学科之机，建立适应科技发展趋势和纳米科技发展需求的人才培养体系。在学校培养阶段，建议设置人工智能、数据分析课程以适应数据密集型研发范式，设置重大科研基础设施实习项目以适应重大突破越来越依赖大科学装置的趋势，并培养围绕大科学装置的合作精神，设置环境保护、科研伦理课程以培养学生负责任地发展纳米科技的意识，设置写作沟通课程以增强学生向社会各界沟通普及纳米科技的能力。重视处于职业生涯起步阶段（博士毕业到副研究员）的35岁以下年轻人的培养，为他们提供政策保障，使他们全身心地投入科研。借“破五唯”改革东风，建立鼓励科研人员从事成果转化的人才和科技成果评价机制。

参考文献

1 The White House. National security strategy of the United States of America. (2017-12-18) [2022-02-22]. https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905.pdf.

2 European Commission. Re-finding industry-defining innovation. (2018-04-23)[2022-02-22]. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/28e1c485-476a-11e8-be1d-01aa75ed71a1.

3 HM Treasury, BIS. Our plan for growth: Science and innovation. (2014-12-17) [2022-02-22]. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7d0003e5274a33be648537/PU1719_HMT_Science_.pdf.

4 Президент России. Указ президента российской федерации от 31.12.2015 г. № 683. (2015-12-31)[2022-02-22]. http://www.kremlin.ru/acts/bank/40391/page/1.

5 文部科学省. ナノテクノロジー・材料分野の現状について. (2017-07-19) [2022-02-22]. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/__icsFiles/

afieldfile/2017/08/16/1393681_4_1.pdf.

6 边文越, 王海名, 张超星, 等. 国际纳米科技发展战略研究. 北京: 科学出版社, 2022.
Bian W Y, Wang H M, Zhang C X, et al. R&D Strategies in Nanotechnology. Beijing: Science Press, 2022. (in Chinese)

7 文部科学省. 第10期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会. (2019-10-18)[2022-02-22]. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-9/index.htm.

8 National Nanotechnology Initiative. NNI supplement to the president's 2021 budget. (2020-10-27)[2022-02-22]. https://www.nano.gov/2021BudgetSupplement.

9 European Commission. FET flagships: A novel partnering approach to address grand scientific challenges and to boost innovation in Europe. (2014-09-16)[2022-02-22]. https://era.gv.at/public/documents/2254/FETFlagshipsStaffWorkingDocument-Sep.pdf.

10 HM Government. UK nanotechnologies strategy: Small technologies, great opportunities. (2010-03-18)[2022-02-22]. http://rritrends.res-agora.eu/uploads/24/10-825-uk-nanotechnologies-strategy.pdf.

11 Economie. Signature du contrat du comité stratégique de filière de l'industrie électronique et présentation du plan Nano 2022. (2019-03-15) [2022-02-22]. https://www.economie.gouv.fr/signature-contrat-comite-strategique-filiere-industrie-electronique-plan-nano-2022#.

12 Bundesministerium für Bildung und Forschung. Aktionsplan nanotechnologie 2020. (2016-09-01) [2022-02-22]. https://www.bmuv.de/themen/chemikaliensicherheit/nanotechnologie/aktionsplaene-nanotechnologie.

13 Правительство России. Программа развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года. (2008-01-17)[2022-02-22]. https://bazanpa.ru/pravitelstvo-rf-programma-ot17012008-h1552712/.

14 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会. ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略. (2018-08-01)[2022-02-22]. https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2018/08/27/1408367_01.pdf.

15 과학기술정보통신부. 제5기 나노기술종합발전계획(안) 수립. (2021-04-30)[2022-02-22]. https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=3&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3180200&searchOpt=ALL&searchTxt=.

16 National Science Foundation, US. DMR supported nanoscale science and engineering centers (NSECs). [2022-02-08]. https://www.nsf.gov/mps/dmr/awards/dmr_nsec.jsp.

17 学術振興会. World premier international research center initiative. (2019-07-12)[2022-02-22]. https://www.jsps.go.jp/j-toplevel/data/wpi.pdf.

18 NFFA EUROPE. About the project. [2023-07-20]. https://nffa.eu/about/.

19 文部科学省.「先端共用施設・技術プラットフォーム展望調査WG」報告書(案). (2019-05-10)[2022-02-22]. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-9/shiryo/__icsFiles/afieldfile/2019/06/21/1416456_17.pdf.

20 The White House. A nanotechnology-inspired grand challenge for future computing. (2015-10-20) [2022-02-22]. https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2015/10/15/nanotechnology-inspired-grand-challenge-future-computing.

21 National Nanomanufacturing Network. About the National Nanomanufacturing Network. [2023-03-18]. http://www.internano.org/nnn.

22 EuroNanoLab. EuroNanoLab at a glance. [2023-07-19]. http://euronanolab.com/index.html#pageSection1.

23 Giles J. Size matters when it comes to safety, report warns. Nature, 2004, 430: 599.

24 科学技術振興機構. 研究開発の俯瞰報告書:ナノテクノロジー・材料分野. (2019-04-24) [2022-02-22]. https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2018/FR/CRDS-FY2018-FR-03.pdf.

25 EU NanoSafety Cluster. EU-US roadmap nanoinformatics 2030. (2018-11-15) [2022-02-22]. https://www.nanosafetycluster.eu/eu-us-roadmap-nanoinformatics-2030/.

26 The White House. OSTP report on the industries of the future act. (2022-04-04) [2023-09-26]. https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/04/04-2022-OSTP_IOTF_Report.pdf.

27 Gouvernement. Discours du Premier ministre Jean Castex - Conseil national de l'industrie. (2021-09-06) [2022-02-22]. https://www.gouvernement.fr/partage/12426-discours-du-premier-ministre-jean-castex-conseil-national-de-l-industrie.

28 "中国学科及前沿领域发展战略研究(2021—2035)"项目

组. 中国纳米科学2035发展战略. 北京: 科学出版社, 2023. ‘Chinese R&D strategies for the disciplines and frontiers in the field of science and technology for 2021-2035’ Task Force. Chinese R&D Strategies for Nanoscience towards 2035. Beijing: Science Press, 2023. (in Chinese)

29 National Nanotechnology Initiative. 2021 National nanotechnology initiative strategic plan. (2021-10-08)[2022-02-22]. https://www.nano.gov/2021strategicplan.

30 ナノテクノロジー・材料科学技術委員会. ナノテクノロジー・材料科学技術分野研究開発プラン／ナノテクノロジー・材料科学技術分野研究開発プログラム(案). (2022-07-22) [2023-09-26]. https://www.mext.go.jp/content/20220726-mxt_nanozai-000024203_7.pdf.

31 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金“十四五”发展规划. [2022-11-17]. https://www.nsfc.gov.cn/publish/portal0/tab1392/.
National Natural Science Foundation of China. NSFC development plan for the 14th five-year plan period. [2022-11-17]. https://www.nsfc.gov.cn/publish/portal0/tab1392/. (in Chinese)

32 과학기술정보통신부. 2022년도 나노기술발전시행계획. (2022-04-28) [2023-09-26]. https://www.nnpc.re.kr/bbs/board.php?bo_table=01_02&wr_id=22.

33 The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. A quadrennial review of the national nanotechnology initiative. (2020-06-09)[2022-02-22]. https://www.nap.edu/catalog/25729/a-quadrennial-review-of-the-national-nanotechnology-initiative-nanoscience-applications.

Study on R&D strategies in nanoscale science and technology of powerhouses and insights

BIAN Wenyue[1*] LIANG Xingjie[2] GE Chunlei[1] HUI Zhongyang[1] JIA Xiaoqi[1] LIU Si[1] YE Jing[1]
CHEN Xiaoyi[1] WANG Wenjun[1] JU Huajun[3]

（1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
2 National Center for Nanoscience and Technology, Beijing 100190, China;
3 Chinese Chemical Society, Beijing 100190, China）

Abstract Nanoscale science and technology (nano S&T) are at the frontier of global strategic high-tech competition. After examining nearly 160 strategy and planning documents released by scientific and technological powerhouses from 2000 to 2023, the study finds ten common approaches adopted by the powerhouses to advance nano S&T as follows. (1) Recognizing nano S&T as a key area for the economy and global competition. (2) Establishing cross-department organizations to meet the cross-disciplinary nature of nano S&T. (3) Developing strategic plans to guide the development of nano S&T and implementing major programs with significant investment. (4) Establishing multidisciplinary nano S&T research centers based upon institutions with strength. (5) Building and maintaining physical and cyber R&D infrastructures for nano S&T. (6) Promoting convergence of nanotechnology, information technology, biotechnology, and cognition science. (7) Establishing facilities to accelerate the commercialization of promising discoveries. (8) Paying close attention to the possible effects of nano S&T on the environment and human health. (9) Developing a skilled workforce and recruiting overseas talents. (10) Engaging in international collaborations. The study also finds that the powerhouses have continued to pay close attention to nano S&T during the past three years, focusing on issues such as leveraging nano S&T to help address significant societal challenges and preparing for the oncoming data-intensive R&D paradigm. Moreover, the study discusses the progress and shortcomings of nano S&T in China and proposes suggestions for R&D in the future after taking account of the findings presented above. The suggestions include promoting the commercialization of promising R&D, building and maintaining nanomaterial databases, establishing nano S&T think tanks, and putting in place a system of developing talent who can adapt to scientific and technological trends and meet the demands of the development of nano S&T.

Keywords nanoscale science and technology, strategy and planning, strategy study, intelligence

边文越 中国科学院科技战略咨询研究院副研究员。主要研究领域：科技战略情报、科技发展战略（化学、纳米）、安全情报学等。E-mail: bianwenyue@casisd.cn

BIAN Wenyue Associate Professor of Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS). His research focuses on science and technology intelligence, science and technology policy (mainly in chemistry and nanotechnology), security intelligence, etc. E-mail: bianwenyue@casisd.cn

■责任编辑：张帆

*Corresponding author